

О ПРОВОДИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ИНВЕРСИОННОГО СЛОЯ InAs *p*-ТИПА В СТРУКТУРАХ In – InAs И Cu – InAs ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

О.В.Жариков, Ю.К.Крутенюк

Экспериментально обнаружены квантовые поправки к проводимости поверхностного инверсионного слоя InAs *p*-типа. Обнаружено проникновение куперовских пар в двумерный проводящий слой InAs в случае контакта последнего со сверхпроводником.

В последние годы в ряде теоретических работ рассмотрены необычные электрические и магнитные свойства двумерных проводящих систем при низких температурах ¹⁻⁴. На сегодняшний день предсказанные эффекты экспериментально обнаружены в МДП структурах на основе Si ⁵, в поверхности скола Ge в гелии ⁶, в тонких металлических пленках ⁷.

В настоящей работе мы исследовали проводимость и магнитосопротивление InAs *p*-типа с целью обнаружения возможных квантовых поправок к сопротивлению поверхностного инверсионного слоя этого соединения при низких температурах ¹⁾. Кроме того, нас заинтересовал вопрос, который еще, видно, не изучался: какие явления возникают в случае контакта двумерной проводящей системы со сверхпроводником и возникают ли они вообще.

Из пластины монокристаллического InAs *p*-типа с поверхностью типа (111), легированного Zn до концентрации $2 \cdot 10^{16}$, вырезались образцы размером 4 x 4 x 0,3 мм. Далее образцы несколько секунд травились в разбавленной HF, промывались спиртом и подвергались в течение 5 минут ионному травлению при $U = 800$ В, $I = 0,1$ мА, давлении аргона $\cong 1,5 \cdot 10^{-4}$ Тор. Процесс проводился для дополнительной очистки поверхности, повышения проводимости инверсионного слоя ⁹ и ее стабилизации на одном уровне для всех образцов. Далее без промежуточной разгерметизации при $\cong 10^{-5}$ Тор проводилось напыление через маску (см. вставку на рис.1) высокочистых In или Cu. Узкие части в маске имели ширину 160 мкм и длину 500 мкм. Щель размером d , который варьировался в опытах в пределах $5 \div 100$ мкм, получалась разрезом с помощью специального микроманипулятора. Проводимость инверсионного слоя после этой процедуры, практически, не изменялась. Величина d определялась в сканирующем электронном микроскопе JSM-25. Сопротивление R измерялось в рефрижераторе растворения He³/He⁴ при температурах (T) до 0,045 К. Измерительный ток варьировался в пределах 1 – 10 мкА. Температура регистрировалась угольным термометром, градуировка которого контролировалась по измерениям восприимчивости парамагнитной соли ЦМН. Магнитосопротивление исследовалось при $1,2 \div 4,2$ К в поперечном магнитном поле H .

¹⁾ Известно, что в InAs *p*-типа существует поверхностный инверсионный слой электронной проводимости, например, ⁸.

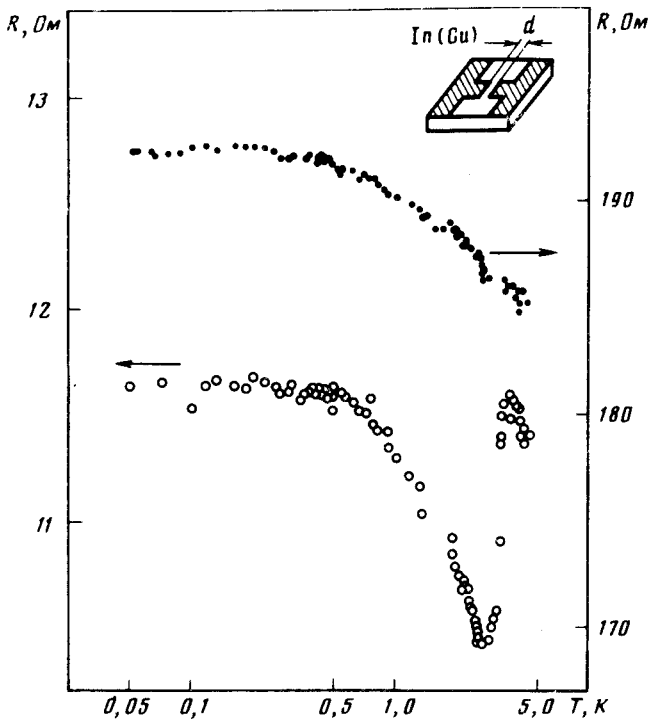


Рис.1. Зависимость сопротивления от температуры для образцов: ● — со структурой Cu — InAs — Cu, ○ — со структурой In — InAs — In.

Опишем теперь результаты измерений сначала для структуры Cu — InAs — Cu. На рис.1 представлена температурная зависимость $R(T)$ образца с $d = 93$ мкм, сопротивлением „на квадрат” $R_{4,2}^{\square} = 320$ Ом, причем температура отложена в логарифмическом масштабе. Можно отметить рост R при уменьшении T по крайней мере до $\cong 0,3$ К, после чего наблюдается выход на насыщение. Видно, что экспериментальные точки могут удовлетворить зависимости $R \sim \ln^1/T$. На вольт-амперных характеристиках (ВАХ) исследованных образцов при малых I наблюдался небольшой начальный нелинейный участок, такой что $dU/dI > R_{4,2}$ с постепенным выходом на линейный с наклоном, соответствующим $R_{4,2}$. При измерительных токах 1 — 10 мкА, т.е. на линейном участке ВАХ, $R(T)$ практически не зависело от I . При $T \geq 4$ К ВАХ были линейны. Измерение $R(H)$ (см. рис.2) обнаруживает положительное магнитосопротивление.

Зависимость $R(T)$ для образца со структурой In — InAs — In ($d = 5$ мкм, $R_{4,2}^{\square} = 340$ Ом) является более сложной. При уменьшении T от $\cong 3,5$ К (для In $T_c = 3,4$ К) до $\cong 2,6$ К наблюдается заметное снижение R , при этом соответствующие ВАХ имеют начальный участок с $dU/dT < R_{4,2}$, а затем выходят на линейный. Дальнейшее охлаждение приводит к росту сопротивления, а ВАХ также аналогичны описанным выше для Cu — InAs — Cu. Заметим, что относительное увеличение сопротивления в этом случае в несколько раз больше, чем для структуры Cu — InAs — Cu. Результаты измерения $R(H)$ для образца со структурой In — InAs — In показаны на рис.2. Наблюдается положительное магнитосопротивление в малых полях, а затем при увеличении H до критического поля H_c In пленки — резкий рост R . (Собственное сопротивление пленки In на три порядка меньше наблюдаемых эффектов и составляет $\sim 10^{-4}$ Ом).

Причины выхода зависимости $R(T)$ на насыщение пока не ясны и, возможно, обусловлены перегревом электронной подсистемы¹⁰. Подобный эффект наблюдался при низких температурах и в^{5,7}.

Тривиальная причина изменения R вблизи T_c и H_c может быть связана с неполным (по толщине) разрезом индиевой пленки или присутствием „островков” In и сверхпроводящим переходом этих более высокоомных участков. Однако, оценка их возможной толщи-

ны дает $< 10 \text{ \AA}$. Кроме того, удается изготовить образцы, минуя этапы напыления и разреза, с паяными индиевыми контактами, в которых наблюдаемые эффекты сохраняются.

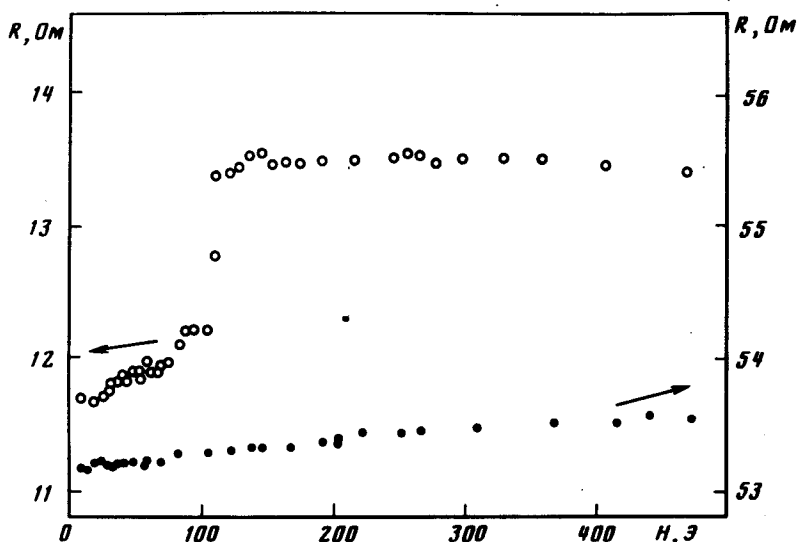


Рис.2. Зависимость сопротивления от магнитного поля для образцов: ● — со структурой Cu-InAs-Cu, ○ — со структурой In-InAs-In

Полученные результаты позволяют сделать следующие предварительные выводы. Температурная зависимость $R(T)$ и положительное магнитосопротивление в полях $\sim 100 \text{ Э}$, т.е. в области классически слабых полей, может, по-видимому, свидетельствовать о вкладе квантовых поправок ⁴ в проводимость поверхностного инверсионного слоя InAs p-типа. Дальнейшее исследование $R(H, T)$ в более широком диапазоне полей позволит выяснить природу наблюдаемых эффектов.

В случае контакта инверсионного слоя со сверхпроводником наблюдается, по видимости, проникновение куперовских пар в проводящий слой вследствие близости сверхпроводника. При уменьшении температуры преобладающим становится рост сопротивления, связанный, как и в первом случае, с двумерностью инверсионного слоя.

Авторы выражают искреннюю признательность Е.П.Вольскому, А.И.Ларкину, А.В.В.Шмидту, Д.Е.Хмельницкому за полезные обсуждения, С.Т.Болдыреву и В.М.Мишачеву за ценные консультации, связанные с работой рефрижераторной установки и вопросами термометрии.

Литература

1. *Abrahams E., Anderson P.W., Licciardello D.C., Ramakrishnan T.V.* Phys. Rev. Lett., 1979, 42, 673.
2. *Altshuler B.L., Aronov A.G., Lee P.A.* Phys. Rev. Lett. 1980, 44, 1288.
3. *Altshuler B.L., Khmel'nitskii D. E., Larkin A.I., Lee P.A.* Phys. Rev. B., 1980, 22, 5142.
4. *Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Ларкин А.И., Хмельницкий Д.Е.* ЖЭТФ, 1981, 81, 768.
5. *Bishop D.J., Tsui D.C., Dynes R.C.* Phys. Rev. Lett., 1980, 44, 1153.
6. *Вул Б.М., Заварицкая Э.И., Заварицкий В.Н.,* Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 87.
7. *Dolan G.J., Osheroff D.D.* Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 721.
8. *Kawaji S., Kawaguchi Y.* Phys. Soc Japan Suppl., 1966, 21, 336.
9. *Millea M.F., Silver A.H., Flesner L.D.* Thin Solid Films., 1979, 56, 253.
10. *Anderson P.W., Abrahams E., Ramakrishnan T.V.,* Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 718.